

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
3 novembre 2005 (03.11.2005)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2005/104473 A1**

(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> :  
**H04L 25/02, H04B 7/005**

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (*pour US seulement*) : **FINK, Mathias** [FR/FR]; 16, rue Edouard Laferrière, F-92190 Meudon (FR). **LEROSEY, Geoffroy** [FR/FR]; 101, rue du Dessous des Berges, F-75013 Paris (FR). **DERODE, Arnaud** [FR/FR]; 196, rue de Tolbiac, F-75013 Paris (FR). **DE ROSNY, Julien** [FR/FR]; 154, rue de Charenton, F-75012 Paris (FR). **TOURIN, Arnaud** [FR/FR]; 65, rue Ernest Renan, F-92310 Sevres (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :  
**PCT/FR2005/000872**

(74) Mandataires : **BURBAUD, Eric** etc.; Cabinet Plasseraud, 65/67, rue de la Victoire, F-75440 Paris Cedex 09 (FR).

(22) Date de dépôt international : 11 avril 2005 (11.04.2005)

(81) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

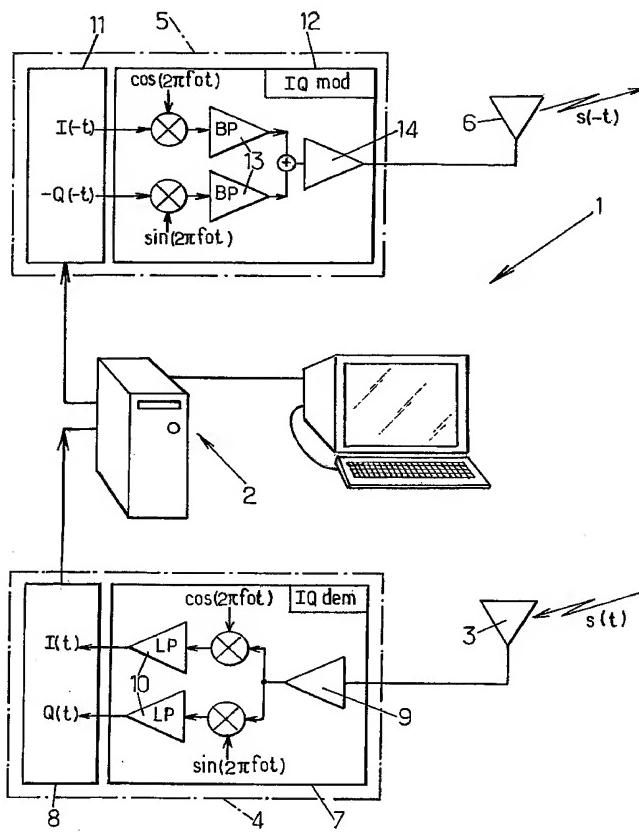
(30) Données relatives à la priorité :  
0403845 13 avril 2004 (13.04.2004) FR

(71) Déposant (*pour tous les États désignés sauf US*) :  
**CENTRAL NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE-CNRS** [FR/FR]; 3, rue Michel Ange, F-75794 Paris Cédex 16 (FR).

*[Suite sur la page suivante]*

(54) Title: METHOD FOR TEMPORAL INVERSION OF A WAVE

(54) Titre : PROCEDE POUR INVERSER TEMPORELLEMENT UNE ONDE.



(57) Abstract: According to the invention, a wave, corresponding to a signal  $s(t)$ , may be temporally inverted by application of a first transformation to lower the central frequency thereof to produce a first set of transformed signals  $K_i(t)$ , then a second set of transformed signals  $K'_i(t)$  is produced, representing the temporal inversion signal  $s(-t)$  and a third transformation is applied to said second set to generate the temporally-inverted signal  $s(-t)$ .

(57) Abrégé : Pour inverser temporellement une onde correspondant à un signal  $s(t)$ , on lui applique une première transformation pour abaisser sa fréquence centrale en produisant un premier ensemble de signaux transformés  $K_i(t)$ , puis on produit un deuxième ensemble de signaux transformés  $K'_i(t)$  représentatif du signal d'inversion temporel  $s(-t)$ , et on applique à ce deuxième ensemble une troisième transformation qui génère le signal d'inversion temporel  $s(-t)$ .

WO 2005/104473 A1



GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

- (84) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Déclaration en vertu de la règle 4.17 :**

- relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)) pour US seulement

**Publiée :**

- avec rapport de recherche internationale  
— avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont requises

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

## PROCEDE POUR INVERSER TEMPORELLEMENT UNE ONDE

La présente invention est relative aux procédés pour inverser temporellement des ondes.

Plus particulièrement, l'invention concerne un procédé pour inverser temporellement une onde correspondant à au moins un signal initial  $s(t)$  où  $t$  est le temps, ce signal initial  $s(t)$  présentant une certaine fréquence centrale  $f_0$  et une bande passante  $\Delta f$ , procédé dans lequel on détermine un signal d'inversion temporel  $\alpha \cdot s(-t)$ , où  $\alpha$  10 est un coefficient multiplicatif constant ou variable dans le temps et  $s(-t)$  est l'inversion temporelle de  $s(t)$ .

Le document EP-A-0 803 991 décrit un exemple d'un tel procédé, qui présente l'inconvénient de faire appel à des approximations de l'inversion temporelle de certains 15 signaux, ce qui ne fonctionne que dans certaines conditions particulières, notamment lorsque la bande passante est très étroite.

La présente invention a notamment pour but de pallier cet inconvénient.

20 A cet effet, selon l'invention, un procédé du genre en question est caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

- on applique au signal initial  $s(t)$  une première transformation adaptée pour abaisser la fréquence centrale 25 du signal et pour sensiblement ne pas entraîner de perte d'information par rapport au signal initial, ladite première transformation produisant un premier ensemble de signaux transformés comprenant au moins un premier signal transformé  $K_i(t)$  de plus faible fréquence centrale que le 30 signal initial, ledit premier ensemble de signaux transformés  $K_i(t)$  étant représentatif dudit signal initial  $s(t)$ ,

- on applique à chaque premier signal transformé  $K_i(t)$ , une deuxième transformation produisant un deuxième 35 signal transformé  $K'i(t)$  sensiblement de même fréquence

centrale que le premier signal transformé, ladite deuxième transformation produisant ainsi un deuxième ensemble de signaux transformés  $K'i(t)$  à partir du premier ensemble de signaux transformés  $Ki(t)$ , ladite deuxième transformation 5 étant choisie pour que ledit deuxième ensemble de signaux transformés soit représentatif du signal d'inversion temporel  $s(-t)$ ,

- on applique au deuxième ensemble de signaux transformés  $K'i(t)$  une troisième transformation qui génère 10 le signal d'inversion temporel  $\alpha.s(-t)$ .

Grâce à ces dispositions, on parvient à produire une onde inversée temporellement sans avoir à travailler à la fréquence  $f_0$ , ce qui, en mode numérique, nécessiterait d'échantillonner le signal à une fréquence 15 d'échantillonnage au moins égale à deux fois la fréquence maximale du signal  $s(t)$  et impliquerait donc l'utilisation de matériels relativement coûteux, notamment si la fréquence  $f_0$  est élevée. Au contraire, selon l'invention, on tire parti du fait que la bande passante  $\Delta f$  du signal 20  $s(t)$  est inférieure à  $f_0$  pour ramener ledit signal à une plus faible fréquence sans perte d'information, ce qui est généralement possible par une opération simple et standard, par exemple de type démodulation. Le ou les signaux  $Ki(t)$  de plus faible fréquence peuvent alors être échantillonnés 25 et traités pour obtenir le ou les signaux  $K'i(t)$  représentatifs de  $s(-t)$ , avec une électronique fonctionnant à relativement faible fréquence et donc peu coûteuse. Par une opération standard par exemple de type modulation (par exemple l'opération inverse de celle appliquée initialement 30 au signal  $s(t)$ ), on revient ensuite à plus haute fréquence en recréant le signal  $s(-t)$ .

Dans des modes de réalisation préférés de l'invention, on peut éventuellement avoir recours en outre à l'une et/ou à l'autre des dispositions suivantes :

35 - la bande passante  $\Delta f$  est inférieure à  $f_0$  ;

- la troisième transformation est une transformation inverse de la première transformation ;
  - la première transformation est une démodulation adaptée pour éliminer un signal de porteuse de fréquence  $f_0$
- 5 pour extraire ledit premier ensemble de signaux transformés  $K_i(t)$  du signal initial  $s(t)$ , et la troisième transformation est une modulation d'un signal porteur de fréquence  $f_0$  par le ou les signaux  $K'i(t)$  ;
- la première transformation est une démodulation
- 10 ~~IQ~~ produisant deux premiers signaux transformés  $K1(t)=I(t)$  et  $K2(t)=Q(t)$  tels que  $s(t) = I(t)\cos(2\pi.f_0.t) + Q(t)\sin(2\pi.f_0.t)$ , la deuxième transformation transforme le signal  $K1(t)$  en  $K'1(t)=I(-t)$  et le signal  $K2(t)$  en  $K'2(t)=-Q(-t)$ , et la troisième transformation est une modulation IQ
- 15 inverse de ladite démodulation ;
- la première transformation est une démodulation en amplitude et phase produisant deux premiers signaux transformés  $K1(t)=A(t)$ , et  $K2(t)=\phi(t)$ , où  $A(t)$  est l'amplitude du signal  $s(t)$  et  $\phi(t)$  la phase du signal  $s(t)$ ,
- 20 la deuxième transformation transforme le signal  $K1(t)$  en  $K'1(t)=A(-t)$  et le signal  $K2(t)$  en  $K'2(t)=-\phi(-t)$ , et la troisième transformation est une modulation inverse de ladite démodulation, produisant le signal d'inversion temporelle  $s(-t)=A(-t)\cos[2\pi.f_0.t-\phi(-t)]$  ;
- 25 - la première transformation est un sous échantillonnage, avec une fréquence d'échantillonnage inférieure à  $2f_0$  mais au moins égale à  $2\Delta f$ , produisant un seul signal transformé  $K1(t)$ , la deuxième transformation est une inversion temporelle transformant le signal  $K1(t)$
- 30 en  $K'1(t)=K1(-t)$ , et la troisième transformation est un filtrage de bande passante sensiblement égale à  $\Delta f$  et centrée sur  $f_0$ , transformant  $K'1(t)$  en  $s(-t)$  ;
- la première transformation est un décalage en fréquence vers le bas, en bande intermédiaire, produisant
- 35 un seul premier signal transformé  $K1(t)$ , la deuxième

transformation est une inversion temporelle transformant le signal  $K1(t)$  en  $K'1(t)=K1(-t)$ , et la troisième transformation est un décalage en fréquence vers le haut, inverse dudit décalage en fréquence vers le bas ;

5 - les première et troisième transformations sont réalisées sur des signaux analogiques, chaque premier signal transformé subit un échantillonnage et la deuxième transformation est réalisée numériquement avant de convertir chaque deuxième signal transformé en signal 10 analogique ;

- l'échantillonnage est réalisé à une fréquence d'échantillonnage inférieure à la fréquence centrale  $f_0$  ;

- l'onde est électromagnétique (par exemple une onde radio, voire une onde optique) ;

15 - la fréquence centrale  $f_0$  est comprise entre 0,7 et 50 GHz ;

- la fréquence centrale  $f_0$  est comprise entre 0,7 et 10 GHz ;

20 - l'onde est choisie parmi les ondes acoustiques et les ondes élastiques.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront au cours de la description suivante d'une de ses formes de réalisation, donnée à titre d'exemple non limitatif, en regard des dessins joints.

25 Sur les dessins :

- la figure 1 est un schéma de principe représentant un exemple de dispositif d'émission/réception d'ondes permettant de mettre en œuvre un procédé selon une forme de réalisation de l'invention,

30 - et les figures 2 et 3 illustrent une application particulière du dispositif de la figure 1.

La figure 1 représente un exemple de dispositif d'émission et de réception d'ondes, en l'occurrence des ondes électromagnétiques radio, permettant de capter une 35 onde et de l'inverser temporellement.

A cet effet, le dispositif 1 d'émission et de réception d'ondes représenté sur la figure 1 comporte par exemple :

- une unité centrale électronique 2, par exemple  
5 un micro-ordinateur ou un circuit électronique à microprocesseur(s),

- une antenne de réception 3 d'ondes radio, adaptée pour capter un signal initial  $s(t)$  correspondant à une onde électromagnétique, où  $t$  représente le temps,

10 - un ensemble démodulateur 4 recevant le signal  $s(t)$  initial capté par l'antenne de réception 3 et relié à l'unité centrale électronique 2 pour lui transmettre des signaux démodulés,

15 - un ensemble modulateur 5 relié à l'unité centrale électronique 2 pour recevoir de cette unité centrale des signaux démodulés représentatifs de l'inversion temporelle  $s(-t)$  du signal initial  $s(t)$ ,

20 - et une antenne émettrice 6 reliée à l'ensemble modulateur 5 pour émettre une onde électromagnétique correspondant au signal modulé  $\alpha \cdot s(-t)$ , où  $s(-t)$  est l'inversion temporelle du signal initial  $s(t)$  et  $\alpha$  est un coefficient multiplicatif, constant ou variable dans le temps.

25 Tous ces éléments peuvent, le cas échéant, être compris dans un même appareil électronique tel qu'un radiotéléphone, une base fixe radiotéléphonique, ou autre.

Le signal initial  $s(t)$  présente une certaine fréquence centrale  $f_0$  et une bande passante  $\Delta f$  inférieure à  $f_0$ , par exemple inférieure à  $f_0/2$  (généralement  $\Delta f$  est petite par rapport  $f_0$ ).

Le signal initial  $s(t)$  peut s'écrire en notation réelle :  $s(t) = A(t) \cos[2\pi \cdot f_0 \cdot t + \phi(t)]$ , où  $A(t)$  est l'amplitude du signal  $s(t)$  et  $\phi(t)$  sa phase.

35 Le signal  $s(t)$  est donc, de façon générale, un signal modulé en amplitude et phase à partir d'une onde

porteuse de fréquence  $f_0$ , cette fréquence  $f_0$  étant généralement connue à l'avance.

Dans l'exemple représenté sur la figure 1, l'ensemble démodulateur 4 comprend un démodulateur IQ 7 qui applique une première transformation au signal  $s(t)$  pour générer deux premiers signaux transformés  $K_1(t) = I(t)$  et  $K_2(t) = Q(t)$  correspondant respectivement à la modulation en phase et en quadrature du signal. En notation réelle, ces signaux  $I(t)$ ,  $Q(t)$  sont tels que :

10            $s(t) = I(t) \cos(2\pi f_0 t) + Q(t) \sin(2\pi f_0 t)$ .

Ces signaux  $I(t)$ ,  $Q(t)$  sont fournis par le démodulateur IQ 7 à un convertisseur analogique digital 8 qui échantillonne lesdits signaux et les transmet sous forme numérique à l'unité centrale 2.

15           Pour générer les signaux  $I(t)$ ,  $Q(t)$ , le démodulateur IQ 7 peut par exemple comporter un amplificateur 9 qui reçoit le signal  $s(t)$  de l'antenne 3 et qui alimente deux circuits parallèles :

20           - un premier circuit dans lequel le signal  $s(t)$  est multiplié par un signal  $\cos(2\pi f_0 t)$  et dans lequel le résultat de la multiplication est transmis à un filtre passe-bas 10 en sortie duquel se retrouve le signal  $I(t)$ ,

25           - et un deuxième circuit dans lequel le signal  $s(t)$  est multiplié avec un signal  $\sin(2\pi f_0 t)$  et dans lequel le résultat de cette multiplication est transmis à un filtre passe-bas 10 en sortie duquel se retrouve le signal  $Q(t)$ .

30           A partir des signaux  $I(t)$ ,  $Q(t)$  échantillonnés, l'unité centrale 2 applique aux signaux une deuxième transformation permettant d'obtenir des deuxièmes signaux transformés  $K'_1(t) = I(-t)$  et  $K'_2(t) = -Q(-t)$ .

35           Ces signaux  $K'_1(t)$ ,  $K'_2(t)$  sont transmis sous forme numérique par l'unité centrale 2, en temps réel ou en temps différé, à l'ensemble modulateur 5, et ledit ensemble modulateur applique à ces signaux une troisième

transformation, inverse de la première transformation susmentionnée, pour obtenir un signal  $s(-t)$  qui, en notation réelle, peut s'écrire :

$$s(-t) = A(-t) \cos[2\pi.f_0.t - \phi(-t)].$$

5 Dans l'exemple représenté sur la figure 1, l'ensemble modulateur 5 comporte un convertisseur analogique-digital 11 qui reçoit les signaux  $I(-t)$ ,  $-Q(-t)$  sous forme échantillonnée de l'unité centrale 2 et qui remet ces signaux sous forme analogique, le convertisseur 10 11 alimentant deux circuits parallèles d'un modulateur IQ 12 :

15 - un premier circuit dans lequel le signal  $K'1(t) = I(-t)$  est multiplié avec un signal  $\cos(2\pi.f_0.t)$ , le résultat de cette multiplication traversant éventuellement un filtre passe-bande 13,

- et un deuxième circuit dans lequel le signal  $-Q(-t)$  est multiplié avec un signal  $\sin(2\pi.f_0.t)$ , le résultat de cette multiplication traversant éventuellement un filtre passe-bande 13.

20 Les sorties des deux filtres passe-bande 13 sont additionnées pour reconstituer le signal  $s(-t)$  qui est transmis, par exemple par l'intermédiaire d'un amplificateur 14, à l'antenne émettrice 6.

Au cours d'une ou plusieurs des première, deuxième 25 et troisième transformations, le signal peut être multiplié par des coefficients constants ou non, de sorte que le signal d'inversion temporelle finalement obtenu peut s'écrire  $\alpha.s(-t)$ ,  $\alpha$  étant un coefficient constant ou non (dans tous les cas de figure, si  $\alpha$  est un coefficient 30 variable dans le temps, il est de préférence lentement variable par rapport à  $s(t)$ ).

On notera que dans le processus de traitement des signaux, les conversions analogiques-digitales et le traitement d'inversion temporelle proprement dit sont 35 effectués sur les signaux démodulés, ou signaux en bande de

base, donc à une fréquence généralement inférieure à  $f_0$ , beaucoup plus faible que la fréquence des signaux  $s(t)$  ou  $s(-t)$ . On peut donc utiliser, pour effectuer ces opérations, une électronique beaucoup plus simple que celle qui serait nécessaire pour inverser temporellement directement le signal  $s(t)$  afin d'obtenir le signal d'inversion temporelle  $s(-t)$ .

A titre d'exemple, la fréquence centrale  $f_0$  de l'onde électromagnétique peut être comprise entre 0,7 et 50 GHz par exemple entre 0,7 et 10 GHz. La bande passante  $\Delta f$  peut être comprise par exemple entre 1 et 500 MHz, par exemple entre 1 et 5 MHz.

Bien entendu, ces valeurs de fréquences ne sont pas limitatives, et le procédé selon l'invention pourrait être utilisé pour traiter toutes sortes d'ondes électromagnétiques, y compris des ondes dont les fréquences se situeraient dans la plage des ondes optiques, notamment en remplaçant les antennes 3, 6 et les ensembles démodulateurs et modulateurs 4, 5 par des éléments équivalents fonctionnant en optique.

On notera par ailleurs que les première deuxième et troisième transformations susmentionnées pourraient être différentes de celles explicitées ci-dessus, pourvu que :

- la première transformation produise un premier ensemble de signaux transformés, comprenant au moins un premier signal transformé  $K_i(t)$  de plus faible fréquence centrale que le signal initial  $s(t)$ , ledit premier ensemble de signaux transformés  $K_i(t)$  étant représentatif du signal initial  $s(t)$  : autrement dit, la première transformation abaisse la fréquence centrale du signal, sensiblement sans perte d'information par rapport au signal initial  $s(t)$ ,

- la deuxième transformation produise au moins un deuxième signal transformé  $K'i(t)$  sensiblement de même fréquence centrale que le premier signal transformé, ledit deuxième ensemble de signaux transformés  $K'i(t)$  étant

représentatif du signal d'inversion temporelle  $s(-t)$ ,

- et la troisième transformation génère le signal d'inversion temporelle  $s(-t)$  à partir du deuxième ensemble de signaux transformés, cette troisième transformation 5 pouvant avantageusement être la transformation inverse de la première transformation susmentionnée.

Comme expliqué précédemment, le signal peut être multiplié par des coefficients constants ou non au cours d'une ou plusieurs de ces transformations, auquel cas le 10 signal final est  $\alpha.s(-t)$ .

Dans les cas les plus courants, la première transformation peut être une transformation de type démodulation adaptée pour éliminer le signal de porteuse de fréquence  $f_0$  et en extraire des signaux de modulation  $K_i(t)$  15 ou signaux en bande de base, la troisième transformation étant la modulation inverse, obtenue en modulant un signal porteur de fréquence  $f_0$  par le ou les signaux  $K'_i(t)$ .

Ces modulations et démodulations peuvent être une démodulation IQ et une modulation IQ comme explicité ci-dessus, mais peuvent le cas échéant être une démodulation et une modulation en amplitude et phase. Dans ce cas, la démodulation, constituant la première transformation susmentionnée, produit deux premiers signaux transformés  $K_1(t) = A(t)$  et  $K_2(t) = \phi(t)$  correspondant respectivement à 25 l'amplitude et à la phase du signal  $s(t)$ . La deuxième transformation génère alors, à partir des signaux  $K_1(t)$  et  $K_2(t)$ , des deuxièmes signaux transformés  $K'_1(t) = A(-t)$  et  $K'_2(t) = -\phi(-t)$ , et la troisième transformation est une modulation inverse de ladite démodulation, produisant le 30 signal d'inversion temporelle  $s(-t)$  par modulation d'une porteuse de fréquence  $f_0$  en amplitude et phase avec les deuxièmes signaux transformés  $K'_1(t)$  et  $K'_2(t)$  :

$$s(-t) = A(-t) \cos[2\pi.f_0.t - \phi(-t)].$$

Par ailleurs, les première et troisième 35 transformations susmentionnées peuvent également être des

transformations différentes d'une démodulation et d'une modulation.

Par exemple, la première transformation peut être un sous-échantillonnage du signal  $s(t)$ , avec une fréquence d'échantillonnage inférieure à  $2f_0$  mais au moins égale à  $2\Delta f$ , produisant un seul signal transformé  $K_1(t)$  échantillonné. Dans ce cas, la deuxième transformation peut consister en une inversion temporelle qui génère un deuxième signal transformé  $K'_1(t) = K_1(-t)$ , et la troisième transformation peut consister en un filtrage du signal  $K'_1(t)$  après conversion en signal analogique, ce filtrage ayant une bande passante centrée sur la fréquence  $f_0$  et de largeur  $\Delta f$ .

Selon une autre variante, la première transformation peut simplement consister en un décalage en fréquence vers le bas, en bande intermédiaire, produisant un seul premier signal transformé  $K_1(t)$  ayant une fréquence centrale supérieure à  $\Delta f/2$ , auquel cas la deuxième transformation est une inversion temporelle transformant le signal  $K_1(t)$  en  $K'_1(t) = K_1(-t)$ , et la troisième transformation est un décalage en fréquence vers le haut, inverse dudit décalage en fréquence vers le bas appliqué initialement au signal  $s(t)$ .

Par ailleurs, on notera que l'onde électromagnétique correspondant au signal d'inversion temporelle  $s(-t)$  n'est pas forcément réémise immédiatement après que l'onde  $s(t)$  a été reçue par l'antenne 3. Au contraire, le signal  $s(-t)$ , ou le ou les signaux  $K'_i(t)$  représentatifs de ce signal d'inversion temporelle  $s(-t)$ , peuvent être déterminés pendant une phase d'apprentissage et rester en mémoire de l'unité centrale 2 pour être réutilisés ensuite afin d'émettre une onde électromagnétique ayant des caractéristiques de focalisation spatiale et temporelle souhaitées.

Par exemple, si l'unité centrale 2, l'ensemble

démodulateur 4 et l'ensemble modulateur 5 sont intégrés dans un radiotéléphone, et si des éléments similaires sont intégrés dans une base fixe appartenant par exemple à un réseau de radiotéléphonie cellulaire, on peut concevoir que, pendant ladite phase d'apprentissage, la base fixe et/ou le radiotéléphone émettent un signal prédéterminé, par exemple un signal impulsif, et que le dispositif (radio téléphone ou base fixe) qui reçoit ce signal mémorise le signal d'inversion temporelle  $s(-t)$  correspondant ou les deuxièmes signaux transformés  $K'i(t)$  représentatifs de ce signal d'inversion temporelle.

Dans ce cas, lorsque l'un des deux dispositifs doit envoyer un message  $m(t)$  à l'autre de ces dispositifs, il peut calculer un signal d'émission  $S(t) = m(t) \otimes s(-t)$  où  $\otimes$  est l'opérateur convolution, et émettre une onde électromagnétique correspondant à ce signal  $S(t)$ . Dans ce cas, particulièrement si le milieu ambiant est très réverbérant pour les ondes électromagnétiques, ce qui est généralement le cas notamment en milieu urbain, l'onde électromagnétique émise se focalise avec une grande précision sur le dispositif qui doit recevoir le message, et le signal capté par ce dispositif récepteur est directement le message  $m(t)$ .

On peut ainsi obtenir une communication bidirectionnelle entre les deux appareils qui est extrêmement discrète, puisque les ondes électromagnétiques, du fait de leur focalisation étroite, ne sont captées efficacement que par les deux appareils. En milieu réverbérant, on augmente ainsi considérablement le débit d'ensemble d'un réseau de télécommunication radio intégrant l'ensemble de ces appareils.

Bien entendu, l'étape d'apprentissage au cours de laquelle sont déterminés les signaux  $K'i(t)$  dans les différents appareils peut être réitérée à intervalles réguliers ou non, pour tenir compte des modifications du

milieu (conditions météorologiques, déplacements d'objets réfléchissant les ondes électromagnétiques tels que véhicules ou autres, etc.) et/ou des déplacements des radiotéléphones mobiles intégrés dans le réseau de 5 télécommunication.

Par ailleurs, on notera également que les antennes émettrice 6 et réceptrice 3 peuvent être confondues et remplacées par une seule antenne, par exemple dans des applications de télécommunications.

10 Toutefois, ces antennes ne sont pas forcément situées au voisinage l'une de l'autre. De plus, l'antenne réceptrice 3 peut éventuellement n'être utilisée qu'au cours d'une étape d'apprentissage initiale permettant de déterminer les signaux  $K'i(t)$ , par exemple lorsqu'on 15 souhaite utiliser le procédé selon l'invention uniquement pour une communication unidirectionnelle, ou pour des applications autres que des applications de télécommunication, notamment des applications visant à détruire ou chauffer un milieu de façon très localisée en 20 focalisant des ondes électromagnétiques au point initial où se trouvait l'antenne réceptrice 3.

Dans ce cas, il est possible par exemple, au cours de la phase d'apprentissage, de faire émettre un signal prédéterminé  $S(t)$  par l'antenne émettrice 6, de capter 25 l'onde électromagnétique  $s(t)$  correspondante, au moyen de l'antenne réceptrice 3, à un emplacement 15 (figure 2) où l'on souhaite focaliser les ondes électromagnétiques, puis de déterminer les signaux  $K'i(t)$  par l'une des méthodes indiquées précédemment, ce qui permet ensuite de générer, 30 au niveau de l'antenne 6, un signal d'inversion temporelle  $s(-t)$ . Lorsqu'on émet ensuite ce signal  $s(-t)$  au niveau de l'antenne émettrice 6, éventuellement après démontage de l'antenne 3 (figure 3), le signal prédéterminé (par exemple un signal impulsif, ou autre) initialement émis par 35 l'antenne émettrice 6 au cours de la phase d'apprentissage,

est reçu de façon très focalisée à l'emplacement 15 occupé initialement par l'antenne réceptrice 3.

Pour focaliser très précisément les ondes sur la zone 15, il est également possible d'émettre initialement 5 le signal souhaité  $S(t)$  depuis la zone 15, puis de capter le signal correspondant  $s(t)$  au niveau de l'antenne 3, confondue avec l'antenne 6 ou très voisine de cette antenne 6. En ré-émettant ensuite le signal  $\alpha.s(-t)$  par l'antenne 6, on peut générer une onde  $S(t)$  focalisée très précisément 10 sur la zone 15, le cas échéant après enlèvement de l'antenne ayant initialement émis le signal  $S(t)$ .

Pour améliorer la qualité de la focalisation des ondes, il est possible d'utiliser le procédé selon 15 l'invention en émettant et/ou en recevant les ondes par l'intermédiaire d'une cavité réverbérant les ondes électromagnétiques (ou, lorsque les ondes sont acoustiques, par l'intermédiaire d'une « cavité » au sens acoustique, constituée par exemple par un objet solide réverbérant pour 20 les ondes acoustiques, par exemple comme décrit dans la demande de brevet français n°03 09140 déposée le 25 juillet 2003).

Par ailleurs on notera qu'une même unité centrale 2 pourrait être reliée à un réseau de plusieurs antennes 3 et 6, reliées par exemple chacune à un ensemble 4 ou 5 respectivement démodulateur ou modulateur. Par exemple, si 25 le dispositif 1 comporte un nombre  $J$  d'antennes réceptrices 3 et un nombre  $L$  d'antennes émettrices 6, l'unité centrale 2 pour calculer  $J*L$  ensembles de signaux  $K_{ij1}(t)$  qui permettent de déterminer  $J*L$  signaux d'inversion temporelle 30  $s_{j1}(-t)$ , à partir de  $J*L$  signaux initiaux  $s_{j1}(t)$ .

On notera également que, dans les différents modes de réalisation de l'invention, les signaux  $K'i(t)$  et/ou les signaux  $s(-t)$  correspondant à une ou plusieurs antennes peuvent être utilisés le cas échéant de façon itérative, 35 par exemple comme indiqué dans le document WO-A-03/101302,

14

de façon à maximiser la précision de la focalisation des ondes électromagnétiques.

Enfin, le procédé selon l'invention est applicable non seulement aux ondes électromagnétiques, mais également 5 aux ondes acoustiques ou élastiques, en remplaçant simplement les antennes 3, 6 par des transducteurs acoustiques, en permettant des applications de communication par voie acoustique (par exemple de communication sous-marine) ou encore d'imagerie ultrasonore -10 (échographie ou similaire, microscopie, etc.).

REVENDICATIONS

1. Procédé pour inverser temporellement une onde correspondant à au moins un signal initial  $s(t)$ , où  $t$  est  
5 le temps, ce signal initial  $s(t)$  présentant une certaine fréquence centrale  $f_0$ , procédé dans lequel on détermine un signal d'inversion temporel  $\alpha \cdot s(-t)$ , où  $\alpha$  est un coefficient multiplicatif et  $s(-t)$  est l'inversion temporelle de  $s(t)$ ,

10 ~~caractérisé en ce qu'il comporte au moins les étapes suivantes :~~

- on applique au signal initial  $s(t)$  une première transformation adaptée pour abaisser la fréquence centrale du signal et pour sensiblement ne pas entraîner de perte  
15 d'information par rapport au signal initial, ladite première transformation produisant un premier ensemble de signaux transformés comprenant au moins un premier signal transformé  $K_i(t)$  de plus faible fréquence centrale que le signal initial, ledit premier ensemble de signaux  
20 transformés  $K_i(t)$  étant représentatif dudit signal initial  $s(t)$ ,

- on applique à chaque premier signal transformé  $K_i(t)$ , une deuxième transformation produisant un deuxième signal transformé  $K'i(t)$  sensiblement de même fréquence centrale que le premier signal transformé, ladite deuxième transformation produisant ainsi un deuxième ensemble de signaux transformés  $K'i(t)$  à partir du premier ensemble de signaux transformés  $K_i(t)$ , ladite deuxième transformation étant choisie pour que ledit deuxième ensemble de signaux  
25 transformés soit représentatif du signal d'inversion temporel  $s(-t)$ ,

- on applique au deuxième ensemble de signaux transformés  $K'i(t)$  une troisième transformation qui génère le signal d'inversion temporel  $\alpha \cdot s(-t)$ .

35 2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la

bande passante  $\Delta f$  est inférieure à  $f_0$ .

3. Procédé selon la revendication 1 ou revendication 2, dans lequel la troisième transformation est une transformation inverse de la première 5 transformation.

4. Procédé selon la revendication 3, dans lequel la première transformation est une démodulation adaptée pour éliminer un signal de porteuse de fréquence  $f_0$  pour extraire ledit premier ensemble de signaux transformés 10  $K_i(t)$  du signal initial  $s(t)$ , et la troisième transformation est une modulation d'un signal porteur de fréquence  $f_0$  par le ou les signaux  $K'i(t)$ .

5. Procédé selon la revendication 4, dans lequel la première transformation est une démodulation IQ produisant 15 deux premiers signaux transformés  $K1(t)=I(t)$  et  $K2(t)=Q(t)$  tels que  $s(t) = I(t)\cos(2\pi.f_0.t) + Q(t)\sin(2\pi.f_0.t)$ , la deuxième transformation transforme le signal  $K1(t)$  en  $K'1(t)=I(-t)$  et le signal  $K2(t)$  en  $K'2(t)=-Q(-t)$ , et la troisième transformation est une modulation IQ inverse de 20 ladite démodulation.

6. Procédé selon la revendication 4, dans lequel la première transformation est une démodulation en amplitude et phase produisant deux premiers signaux transformés  $K1(t)=A(t)$ , et  $K2(t)=\phi(t)$ , où  $A(t)$  est l'amplitude du 25 signal  $s(t)$  et  $\phi(t)$  la phase du signal  $s(t)$ , la deuxième transformation transforme le signal  $K1(t)$  en  $K'1(t)=A(-t)$  et le signal  $K2(t)$  en  $K'2(t)=-\phi(-t)$ , et la troisième transformation est une modulation inverse de ladite démodulation, produisant le signal d'inversion temporelle 30  $s(-t)=A(-t)\cos[2\pi.f_0.t-\phi(-t)]$ .

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel la première transformation est un sous échantillonnage, avec une fréquence d'échantillonnage inférieure à  $2f_0$  mais au moins 35 égale à  $2\Delta f$ , produisant un seul signal transformé  $K1(t)$ , la

deuxième transformation est une inversion temporelle transformant le signal  $K1(t)$  en  $K'1(t)=K1(-t)$ , et la troisième transformation est un filtrage de bande passante sensiblement égale à  $\Delta f$  et centrée sur  $f_0$ , transformant 5  $K'1(t)$  en  $s(-t)$ .

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel la première transformation est un décalage en fréquence vers le bas, en bande intermédiaire, produisant un seul premier signal 10 transformé  $K1(t)$ , la deuxième transformation est une inversion temporelle transformant le signal  $K1(t)$  en  $K'1(t)=K1(-t)$ , et la troisième transformation est un décalage en fréquence vers le haut, inverse dudit décalage en fréquence vers le bas.

15 9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les première et troisième transformations sont réalisées sur des signaux analogiques, chaque premier signal transformé subit un échantillonnage et la deuxième transformation est réalisée 20 numériquement avant de convertir chaque deuxième signal transformé en signal analogique.

10. Procédé selon la revendication 9, dans lequel l'échantillonnage est réalisé à une fréquence d'échantillonnage inférieure à  $f_0$ .

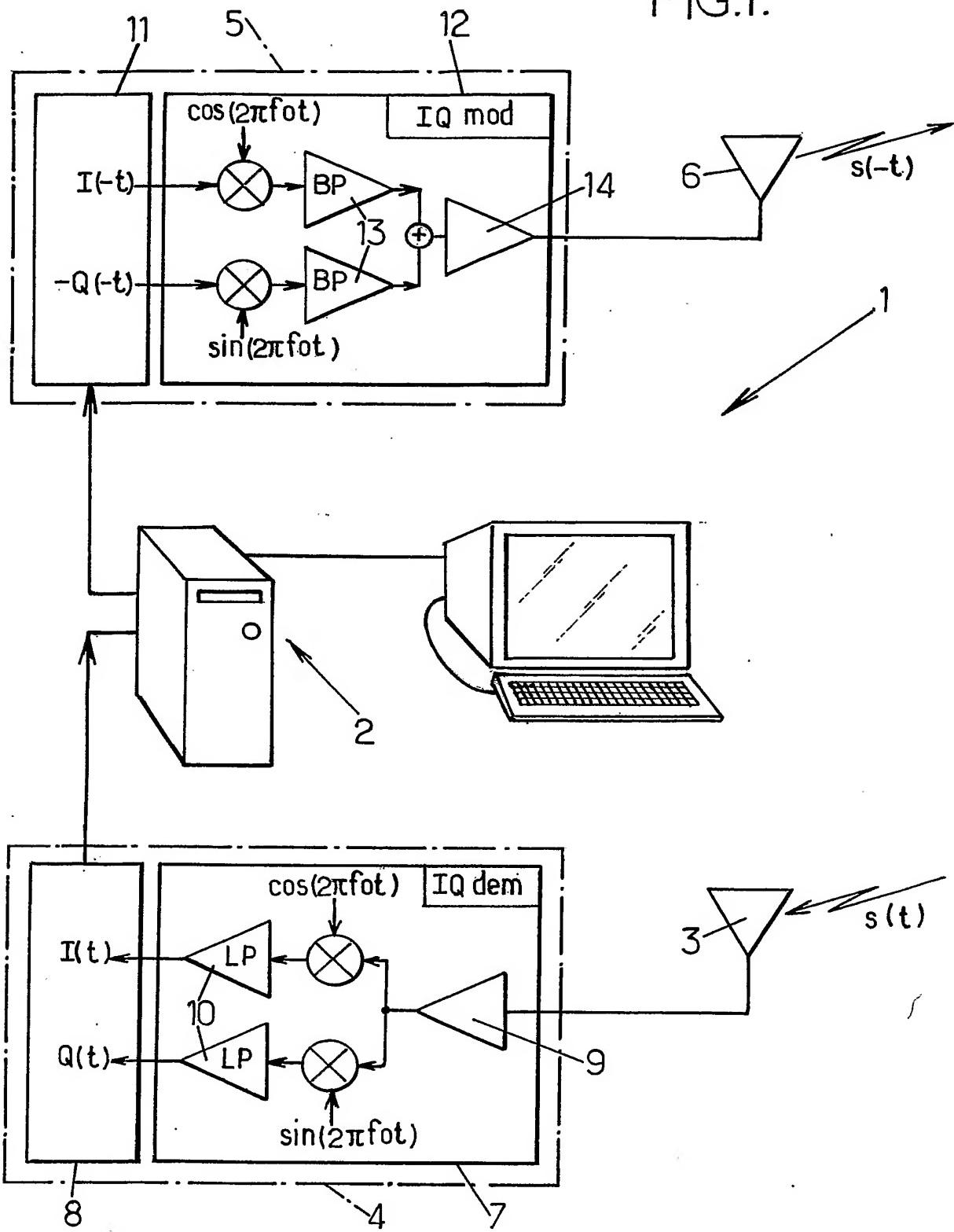
25 11. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'onde est électromagnétique.

12. Procédé selon la revendication 11, dans lequel la fréquence centrale  $f_0$  est comprise entre 0,7 et 50 GHz.

30 13. Procédé selon la revendication 12, dans lequel la fréquence centrale  $f_0$  est comprise entre 0,7 et 10 GHz.

14. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, dans lequel l'onde est choisie parmi les ondes acoustiques et les ondes élastiques.

FIG.1.



2/2

FIG.2.

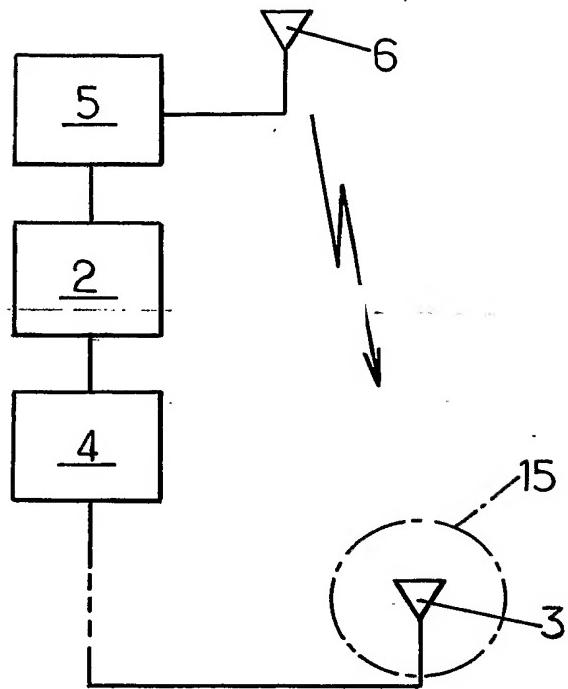
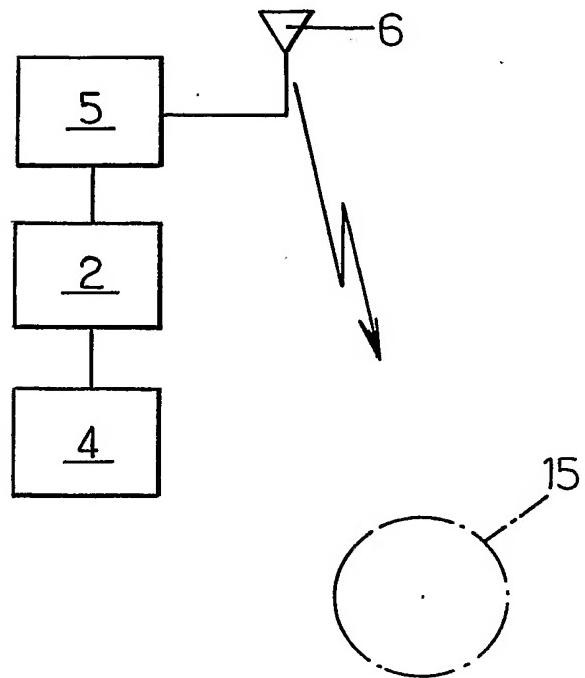


FIG.3.



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internat. Application No  
PCT/FR2005/000872

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 H04L25/02 H04B7/005

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 H04L H04B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2004/014498 A1 (GREGO GIORGIO) 22 January 2004 (2004-01-22) page 1, paragraph 2 – paragraph 14 page 1, paragraph 20 – page 2, paragraph 23 page 2, paragraph 32 – page 3, paragraph 57 page 4, paragraph 62 figures 1-4 ----- US 2003/138053 A1 (CANDY JAMES V ET AL) 24 July 2003 (2003-07-24) page 2, paragraph 28 – page 3, paragraph 38 page 8, paragraph 104 figure 7 -----	1-14
X	-----	1-14

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

Date of mailing of the international search report

9 August 2005

24/08/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel: (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Marzenke, M

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern  
PCT/FR2005/000872

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	GOMES J ET AL: "Asymmetric underwater acoustic communication using a time-reversal mirror" IEEE, vol. 3, 11 September 2000 (2000-09-11), pages 1847-1851, XP010521142 page 1847 - page 1848 -----	1-14

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

Internal application No  
PCT/FR2005/000872

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US 2004014498 A1	22-01-2004	IT	T020000694 A1	11-01-2002
		AU	6942501 A	21-01-2002
		CA	2415570 A1	17-01-2002
		CN	1444804 A	24-09-2003
		EP	1299962 A2	09-04-2003
		WO	0205436 A2	17-01-2002
		JP	2004503169 T	29-01-2004
US 2003138053 A1	24-07-2003	AU	2002343682 A1	10-06-2003
		WO	03045023 A1	30-05-2003

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demandation No  
PCT/FR2005/000872

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE  
CIB 7 H04L25/02 H04B7/005

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 H04L H04B

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 2004/014498 A1 (GREGO GIORGIO) 22 janvier 2004 (2004-01-22) page 1, alinéa 2 – alinéa 14 page 1, alinéa 20 – page 2, alinéa 23 page 2, alinéa 32 – page 3, alinéa 57 page 4, alinéa 62 figures 1-4 -----	1-14
X	US 2003/138053 A1 (CANDY JAMES V ET AL) 24 juillet 2003 (2003-07-24) page 2, alinéa 28 – page 3, alinéa 38 page 8, alinéa 104 figure 7 ----- -----	1-14

Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgarion orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- \*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- \*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- \*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- \*&\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

9 août 2005

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

24/08/2005

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Marzenke, M

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demar nationale No  
PCT/FR2005/000872

## C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	GOMES J ET AL: "Asymmetric underwater acoustic communication using a time-reversal mirror" IEEE, vol. 3, 11 septembre 2000 (2000-09-11), pages 1847-1851, XP010521142 page 1847 - page 1848 -----	1-14

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Deme nationale No  
PCT/FR2005/000872

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication		Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
US 2004014498	A1	22-01-2004	IT	T020000694 A1		11-01-2002
			AU	6942501 A		21-01-2002
			CA	2415570 A1		17-01-2002
			CN	1444804 A		24-09-2003
			EP	1299962 A2		09-04-2003
			WO	0205436 A2		17-01-2002
			JP	2004503169 T		29-01-2004
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
US 2003138053	A1	24-07-2003	AU	2002343682 A1		10-06-2003
			WO	03045023 A1		30-05-2003
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----